

Errores conceptuales en Física en alumnos de E.S.O. y Bachillerato. Propuestas de resolución

TRABAJO FIN DE MASTER

ALUMNO: IÑIGO ROMANOS FORCADA

TUTOR: ANTONIO VELA PONS

Contenido

ERRORES CONCEPTUALES EN FÍSICA EN ALUMNOS DE E.S.O. Y BACHILLERATO. PROPUESTAS DE RESOLUCIÓN	3
1.- INTRODUCCIÓN	3
2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO	7
3.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA: DEFINICIÓN, ORIGENES Y CAUSAS DE LOS ERRORES CONCEPTUALES	8
4.- ERRORES CONCEPTUALES EN FÍSICA	11
4.1.- PLANTEAMIENTO GENERAL	11
4.2.- ACELERACIÓN EN EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO.	13
4.3.- ACELERACIÓN NORMAL EN EL MOVIMIENTO CIRCULAR.....	20
4.4.- PESO Y PRESIÓN.	26
4.5.- DIRECCIÓN DE ACTUACIÓN DE LA PRESIÓN.....	29
4.6.- CALOR Y TEMPERATURA.	32
4.7.- ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.	36
4.8.- CONCEPTO DE CAMPO.	42
5.- CONCLUSIONES	46
6.- BIBLIOGRAFIA	47

ERRORES CONCEPTUALES EN FÍSICA EN ALUMNOS DE E.S.O. Y BACHILLERATO. PROPUESTAS DE RESOLUCIÓN.

1.- INTRODUCCIÓN

La asimilación por los alumnos de los contenidos conceptuales transmitidos por el profesorado o por los libros y su capacidad para reproducirlos ha constituido el objetivo más básico de la enseñanza por transmisión de conocimientos elaborados. En principio parecía que el porcentaje del alumnado que alcanzaba este objetivo era elevado, sobre todo si se comparaba con las dificultades encontradas en otros campos como el de la resolución de problemas o el de los trabajos prácticos.

La evolución de las pruebas de evaluación y de los tipos de cuestiones planteadas puso en evidencia una grave y general incomprensión de conceptos, incluso los más fundamentales y reiteradamente enseñados. La publicación de diferentes estudios rigurosos (Viennot 1976) atrajo la atención sobre este problema que cuestionaba la efectividad de la enseñanza en los campos donde los resultados parecían más positivos; la inmensa mayoría de los alumnos ni siquiera había logrado comprender el significado de los conceptos científicos más básicos, a pesar de una enseñanza reiterada, y los errores que cometían se expresaban como ideas muy seguras y persistentes, afectando de forma similar a alumnos de distintos países y niveles e incluyendo a un porcentaje significativo de profesores (ya que si estos errores se mantienen en el nivel universitario y estos alumnos salen de la universidad asimilando como correctos estos errores conceptuales, si en el día de mañana ejercen la labor docente podría suponer una extensión y agravio de este problema). Habitualmente se habían relacionado los malos resultados con carencias del alumnado o con deficiencias de los sistemas de enseñanza anteriores pero los nuevos estudios abrieron una potente línea de investigación de estos errores (Osborne y Wittrock 1983; Carrascosa 1985; Hierrezuelo Moreno, Montero Moreno y Fernández Gonzalez 1989), que se denominaron *errores conceptuales*, e hizo que el profesorado concediera a estos estudios una particular atención, como si este problema se hubiese intuido anteriormente en la práctica docente.

Una vez puesta en evidencia la extensión y la gravedad de estos errores conceptuales, las investigaciones se centraron en conocer y comprender sus causas y en el diseño de estrategias de enseñanza para mejorar los resultados. Se han apuntado básicamente dos causas, relacionadas además entre sí (Gil Pérez 1993):

- Esos errores constituyen ideas espontáneas o preconcepciones que los alumnos ya tenían previamente al aprendizaje escolar (Caramazza, McCloskey y Green 1981; Osborne y Wittrock 1983).
- El tipo de enseñanza más habitual, en el que se transmiten conocimientos elaborados, no favorece una recepción significativa de los mismos (Bachelard 1938; Otero Gutiérrez 1985).

Respecto a las preconcepciones, si bien la investigación de las ideas previas de los alumnos sobre conceptos científicos es uno de los campos más estudiados en los últimos años en la Didáctica de las Ciencias, verdaderamente existen pocos estudios rigurosos que esclarezcan cuales son las causas y las posibles soluciones al problema.

En cuanto a la enseñanza de las Ciencias, uno de los objetivos más importantes es que los alumnos sean capaces de tener ideas adecuadas en cuanto a la construcción y justificación del conocimiento científico.

La enseñanza de las Ciencias ha pasado por diferentes etapas en función de la visión de la naturaleza de la Ciencia existente en cada momento. En principio, imperaban los conocidos como **puntos de vista tradicionales** de la naturaleza de la Ciencia los cuales asocian la génesis del conocimiento científico a la observación-experimentación y/o a la racionalidad del pensamiento humano. Eran posiciones empíricas y lógicas que se fundamentaban en la separación entre las observaciones y las teorías y en el papel de la lógica en la justificación de las observaciones. A partir de los años 50 surgió la **Nueva Filosofía de la Ciencia** al poner en duda la relación entre la experimentación y la génesis de nuevas teorías científicas y, posteriormente, la racionalidad de la ciencia. La idea básica era que el conocimiento científico está condicionado por las perspectivas teóricas de los que investigan o de la comunidad de investigadores. En los últimos años esta Nueva Filosofía de la Ciencia ha dado un **giro cognitivo** a partir del intento de preservar y comprender la racionalidad de la ciencia.

Una teoría cognitiva de la ciencia es la que intenta explicar cómo los científicos utilizan sus capacidades cognitivas (percepción, control motor, memoria, imaginación y lenguaje) para, interactuando con el mundo, construir la ciencia moderna. Estas visiones afectan tanto al desarrollo de la ciencia como a la enseñanza de la misma ya que, enseñar ciencia implica, entre otros aspectos, establecer puentes entre el conocimiento, tal y como lo expresan los científicos a través de textos, y el conocimiento que pueden construir los estudiantes.

En la actualidad, el punto de vista dominante en el campo psicológico relacionado con la Didáctica de las Ciencias es el **constructivismo**. Es decir, los estudiantes construyen sus conocimientos. Pero esta construcción puede realizarse de diferentes formas, por lo que existen diferentes **puntos de vista o modelos** de aprendizaje y, por tanto, diferentes modelos de enseñanza. Los principales puntos de vista, aunque no los únicos, son:

- Desde el punto de vista **conductista**, se dice que se ha aprendido algo cuando se observa que una persona realiza adecuadamente las operaciones o conductas esperadas. Se deduce que aprender es la consecuencia de la repetición de ciertas conductas que el individuo realiza cuando se le motiva (positiva o negativamente).
- Desde el punto de vista **piagetiano**, el aprendizaje se relaciona con la construcción de diferentes operaciones que se van integrando en la estructura cognitiva del individuo y dan lugar a los diferentes estadios evolutivos. Es decir, se sabe que se ha aprendido si se es capaz de poner en práctica las operaciones en diferentes situaciones o contextos.
- Desde la **teoría de la actividad**, el aprendizaje se produce cuando el individuo ha construido su base de orientación consciente, es decir, cuando delante de una tarea se sabe representar sus objetivos, anticipar y planificar un plan de actuación para resolver y se tienen criterios para decidir si se está realizando bien o no.
- La teoría del **aprendizaje asimilativo** distingue entre aprendizaje memorístico y aprendizaje significativo. El primero se demuestra cuando una persona sabe repetir verbalmente algo sin que necesariamente establezca relaciones con los otros conocimientos que tiene almacenados en su memoria mientras que en el segundo se es capaz de establecer relaciones con los conceptos y proposiciones relevantes ya conocidas. Y, en

esta teoría, se aprende cuando se almacena la nueva información de forma significativa.

- Desde las teorías psicológicas **cognitivistas** relacionadas con las teorías de los llamados **Modelos mentales**, se considera que se ha aprendido cuando se ha modificado el modelo mental inicial de forma que en el modelo evolucionado se explicitan y articulan de forma particularizada las convenciones implícitas en el modelo inicial.

A todo esto hay que añadir que en el rendimiento académico y, en este caso, en el aprendizaje de las Ciencias influyen de manera notable muchos otros factores psicosociales tales como los factores socioeconómicos, la masificación de las aulas, la actitud negativa y la falta de motivación del alumnado, etc. Aun así, en el proceso de enseñanza-aprendizaje son de suma importancia los textos que complementan la actividad pedagógica de los docentes, la misma formación impartida por el profesorado y, como no, el aprendizaje previo de los alumnos de conceptos y el dominio de destrezas.

Pero, como ya se ha mencionado, la investigación educativa ha empezado a mostrar especial interés en determinados factores que plantean dificultades y problemas en dicho aprendizaje de las ciencias: las concepciones epistemológicas y las ideas previas del alumnado.

Por todo lo anterior, este trabajo se ha centrado en el estudio de algunos de los errores conceptuales más habituales en la enseñanza de las Ciencias, y más concretamente en el campo de la Física, y en la propuesta de recursos para facilitar su correcta comprensión por parte del alumnado.

2.- OBJETIVOS DEL TRABAJO

El objetivo final de este trabajo es hacer una aportación para conseguir eliminar algunos de los errores conceptuales en la enseñanza de la Física y así facilitar el aprendizaje al alumnado.

Este objetivo, así expresado, puede parecer pretencioso e inviable debido al gran número de errores existentes y debido a la propia extensión y duración del estudio. Pero nos permite establecer unos propósitos específicos del trabajo que serían:

- Proporcionar métodos y recursos para la explicación de los conceptos involucrados en cada uno de los errores explicados.
- Proporcionar ideas y servir de guía para la planificación y preparación de la materia profundizando en los conceptos que el docente crea más importantes o en los que los alumnos tengan más dificultad.



3.- INTRODUCCIÓN TEÓRICA: DEFINICIÓN, ORIGENES Y CAUSAS DE LOS ERRORES CONCEPTUALES

El **conocimiento** está formado por conceptos y por relaciones entre ellos, denominadas proposiciones o principios.

Desde que nacemos observamos e interactuamos con fenómenos, hechos y objetos y esta interacción supone nuestro proceso de aprendizaje. Podemos definir los **conceptos** como la etiqueta con la que designamos regularidades percibidas en hechos u objetos, o en registros de hechos u objetos. Los significados de nuestros conceptos cambian con el tiempo debido a que aumenta la variedad de lo que aprendemos, y esto nos proporciona nuevas maneras de relacionar unos conceptos con otros.

Los significados conceptuales se adquieren en las primeras etapas de la vida, cuando se aprende que los acontecimientos poseen una determinada regularidad que los adultos caracterizan mediante palabras. Los niños pasan del descubrimiento de significados conceptuales por sí mismos a la adquisición de conceptos mediante la utilización del lenguaje, es decir, de la formación de conceptos a la asimilación de los mismos y todo ello por descubrimiento, no por instrucción. El lenguaje da al niño la habilidad para adquirir nuevos conceptos y significados mediante aprendizaje por recepción. Sin embargo, el proceso de aprendizaje se ve frenado en la escuela por la barrera del aprendizaje memorístico. Y además, en el aprendizaje de las Ciencias en general se requieren representaciones, razonamientos acompañados de construcciones geométricas, manejo de magnitudes tridimensionales, abstracción y comprensión del espacio,... y no es posible transmitir todo ese bagaje de una forma puramente verbal. Estos dos motivos impiden la correcta comprensión de conceptos, incluso de los más fundamentales y reiteradamente enseñados. Estos errores en la comprensión de los conceptos son los que se denominan **errores conceptuales** también llamados ideas previas, estructuras conceptuales, preconceptos, conocimientos previos, concepciones, ideas espontáneas, concepciones erróneas, ciencia intuitiva, ciencia de los alumnos, teorías implícitas o teorías en acción.

Los orígenes o las causas de estos errores conceptuales son diversos pero el estudio de los mismos ha permitido conocer que el origen está en la experiencia cotidiana y son reforzados por el lenguaje común, más impreciso, que refuerza ideas inadecuadas y aprendizajes inapropiados generalmente influenciados por el entorno

social y los medios de comunicación. Otras causas que también influye son la utilización de analogías en los libros de texto o por parte de los docentes, la observación y extrapolación de forma “acrítica” de la naturaleza que rodea, el exceso de superficialidad, una enseñanza inadecuada bien porque no se tiene en cuenta lo que los alumnos saben con anterioridad bien porque los propios profesores tienen interiorizados los errores o errores en los propios libros de texto o en el material utilizado.

Las principales características de los errores conceptuales son:

- Son ideas espontáneas.
- Son coherentes y por ello se les denomina esquemas conceptuales. Una concepción no presenta contradicciones internas. Se trata de un sistema de concepciones interconectadas coherente y que resulta suficientemente estable.
- Suelen ser científicamente erróneas. La construcción de la ciencia exige un gran esfuerzo de “abstracción” y un conflicto contra el “sentido común”.
- Presentan cierta semejanza con concepciones que estuvieron vigentes a lo largo de la historia del pensamiento.
- Tienen similitudes entre los alumnos de diferentes países, culturas y edades. Debe tenerse en cuenta la intervención de factores relacionados con el contexto social y cultural.
- Son duraderos, difíciles de detectar y de modificar. Además muchas veces no se tiene consciencia de que los conceptos asimilados son erróneos. Esto puede hacer que persistan a lo largo del tiempo a pesar de intervenciones educativas dirigidas a facilitar su transformación.
- Son consistentes. Un alumno es consistente en la utilización de una concepción determinada cuando la usa en contextos distintos, aunque científicamente equivalentes.

A la vista de las causas y de las propiedades de los errores conceptuales se hace necesario un cambio en la forma de impartir la clase, fomentando un aprendizaje significativo frente al receptivo o al memorístico. Esto también implica un cambio en el

diseño del material curricular e instruccional. El objetivo es conseguir un cambio conceptual con el que se modifiquen las ideas previas de los alumnos y se sustituyan por las ideas y conceptos aceptados por la comunidad científica. Pero esta transformación no es un proceso abrupto, sino lento y gradual que a veces no se produce de manera aislada y en el que pueden intervenir diversos factores como por ejemplo el contexto o el nivel de comprensión de los conceptos entre otros.

4.- ERRORES CONCEPTUALES EN FÍSICA

4.1.- PLANTEAMIENTO GENERAL

Los errores conceptuales, aunque se dan en todos los campos, tienen mayor incidencia en las materias de Ciencias y muy especialmente en la Física y en la Química. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los conceptos que se emplean en ambas materias son intangibles y se producen a un nivel que no permite su observación (las fuerzas que actúan sobre un cuerpo no se pueden ver ni tocar, muchos de los procesos químicos tienen lugar a nivel atómico,...).

Los alumnos han observado desde la infancia fenómenos físicos y químicos desconocidos para ellos y a los que le han buscado una explicación desde su propio conocimiento o experiencia, a través de las explicaciones de familiares o amigos y a través de lo que ven en los medios de comunicación y en internet.

Una vez en el aula se les explican nuevos conceptos, normalmente sin tener en cuenta los conocimientos previos que tengan en esa materia, sin enseñar todo el proceso de razonamiento, con materiales elaborados no adecuados y, normalmente, de manera expositiva y con tiempo insuficiente para realizar una explicación adecuada. A esto se le une en muchas ocasiones que los propios docentes tienen interiorizados errores conceptuales, que transmiten a los alumnos, y errores que aparecen en los propios libros de texto utilizados.

Es por esto que las concepciones previas de los alumnos son extremadamente difíciles de eliminar ya que ven más coherente su idea que la explicación que les acaban de dar. Y, en el peor de los casos, interactúan el conocimiento previo y la explicación del profesor dando lugar a un conjunto diverso de resultados de aprendizaje no deseados.

Ante este escenario, es labor del docente utilizar todo su conocimiento y los recursos a su alcance para detectar las ideas previas de los alumnos, crear o seleccionar el material más adecuado y preparar explicaciones, ejemplos, recursos y experiencias que permitan a los alumnos comprender los conceptos explicados y detectar sus propios errores.

A continuación se han seleccionado algunos de los errores más típicos que se producen en la materia de Física y se plantean, según el caso, experiencias y recursos que puedan aclarar los conceptos y resolver los errores. Todo ello con el objetivo de servir de ejemplo para otros casos que puedan surgir.

Se van a analizar los siguientes casos:

- [Aceleración en el movimiento rectilíneo.](#)
- [Aceleración normal \(centrípeta\) en el movimiento circular.](#)
- [Peso y presión.](#)
- [Dirección de actuación de la presión.](#)
- [Calor y temperatura.](#)
- [Electricidad y magnetismo.](#)
- [Concepto de campo.](#)

4.2.- ACELERACIÓN EN EL MOVIMIENTO RECTILÍNEO.

La cinemática es la rama de la Física que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin considerar las causas que lo originan y se limita, esencialmente, al estudio de la trayectoria en función del tiempo. En E.S.O. y Bachillerato se centra en el estudio del movimiento rectilíneo en todas sus variantes (uniforme o uniformemente acelerado, horizontal, vertical, composición de movimientos), del movimiento circular (uniforme o uniformemente acelerado) y del movimiento armónico simple.

Los conceptos fundamentales que se manejan en las explicaciones son sistema de referencia, movimiento, reposo, posición, desplazamiento o trayectoria, distancia o espacio recorrido, velocidad y aceleración. Como se puede ver, son muchos conceptos los que entran en juego y alguno de ellos se utiliza en la vida cotidiana con un significado algo diferente al que tienen en la cinemática. En principio, se estudian los movimiento más simples y se emplean para ello magnitudes escalares. Los problemas aparecen cuando se estudian los movimientos acelerados y se introduce el uso de magnitudes vectoriales las cuales, en muchos casos, todavía no han sido explicadas en la asignatura de matemáticas.

Uno de los errores que se comete más comúnmente es **confundir el vector velocidad y el vector aceleración** o más concretamente pensar que la magnitud, la dirección y el sentido de ambas están directamente relacionadas. Este error se comete ya desde el estudio del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado por lo que se va a analizar en este caso y, en principio, considerando una dimensión.

Si se tiene una partícula en movimiento, en un momento t_i ocupará la posición x_i y en un momento t_f posterior ocupará la posición x_f . En el intervalo de tiempo $\Delta t = t_f - t_i$, el desplazamiento de la partícula ha sido $\Delta x = x_f - x_i$. Se define la componente x de la **velocidad media** \bar{v} como la razón de su desplazamiento Δx y el intervalo de tiempo Δt .

$$\bar{v} \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

Si Δt se toma tan pequeño que podemos decir que tiende a cero, la velocidad media tiende a ser la pendiente de la tangente en el punto (t_i, x_i) a la curva que representa la Δx en el tiempo. Por tanto, se define la **velocidad instantánea** v como el valor límite de la razón $\Delta x / \Delta t$ cuando Δt tiende a cero:

$$v \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

La velocidad instantánea puede ser positiva, negativa o cero.

Si la velocidad de la partícula cambia en el tiempo se dice que la partícula tiene una aceleración. Si la partícula en movimiento, en el momento t_i tiene una velocidad v_i y en un momento t_f tiene una velocidad v_f . En el intervalo de tiempo $\Delta t = t_f - t_i$, el incremento de la velocidad de la partícula ha sido $\Delta v = v_f - v_i$. Se define la **aceleración media** \bar{a} de la partícula en el intervalo $\Delta t = t_f - t_i$ como la razón del cambio de velocidad $\Delta v = v_f - v_i$ en este intervalo.

$$\bar{a} \equiv \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

Y análogamente al caso de la velocidad, se define la **aceleración instantánea** a como el valor límite de la aceleración media cuando Δt tiende a cero:

$$a \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2}$$

La aceleración instantánea también puede ser positiva, negativa o cero. Si es positiva, la aceleración es en la dirección de x positiva y si es negativa, la aceleración es en la dirección de x negativa.

A partir de estas expresiones, fijando el valor de la aceleración (que se considerará constante) e integrando, se obtienen las **ecuaciones que rigen los movimientos rectilíneos** y que son:

$a = \text{constante}$	Aceleración
$v = v_i + at$	Velocidad
$x = x_i + v_i t + \frac{1}{2}at^2$	Posición

Analizando las expresiones anteriores se puede ver que si $a = 0$ se tiene un movimiento rectilíneo uniforme, donde la velocidad siempre es la velocidad inicial (no hay aceleración) y la posición de la partícula en cada instante es función de la posición inicial y de la velocidad de la partícula. Si $a \neq 0$, la velocidad se modifica con el tiempo y la posición de la partícula en cada instante depende de la posición y velocidad iniciales y también de la aceleración.

Aspectos a tener en cuenta:

- Los valores positivos o negativos de x , v y a dependen del sistema de referencia que se tome para analizar el movimiento.
- Los vectores \vec{x} , \vec{v} y \vec{a} son diferentes entre sí aunque sus magnitudes vengan marcadas por las expresiones anteriormente indicadas. Es decir, en cada instante cada uno de ellos va a tener su magnitud, su dirección y su sentido. Podemos tener un desplazamiento y una velocidad positivos con una aceleración negativa, el módulo de la velocidad puede ser muy grande y el de la aceleración pequeño o viceversa, o cualquiera de las combinaciones posibles entre los parámetros de dichos vectores.

Para que los alumnos comprendan mejor el comportamiento de una partícula en movimiento se plantean las siguientes acciones:

1.- Plantear ejemplos cotidianos en los que se presentan los diferentes tipos de movimiento como por ejemplo el curling o los bolos (movimiento rectilíneo uniforme ya que presenta un rozamiento prácticamente nulo), dejar caer un balón o botarlo (caída de un objeto desde un punto fijo con o sin velocidad inicial), el saque en el tenis (lanzamiento vertical de un objeto) y un coche acelerando o frenando (movimiento uniformemente acelerado). También pueden plantearse situaciones en las que se combinan tipos de movimientos y que permitirán discutir y analizar los movimientos y los vectores respecto a los ejes de referencia. Por ejemplo, una maniobra de aparcamiento de un coche, el vuelo de un avión desde el despegue hasta el aterrizaje, una barca remando contracorriente o la comparación del movimiento de dos coches que circulan en sentido opuesto y las diferentes situaciones que pueden producirse.

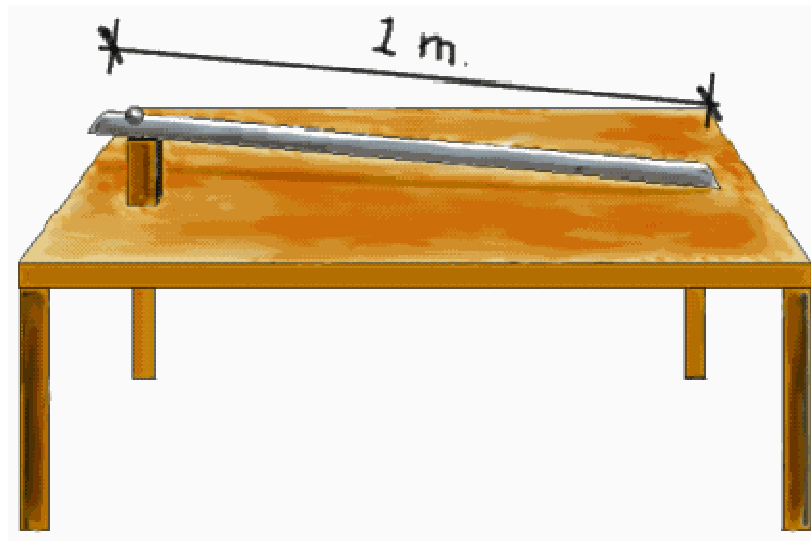
2.- Análisis del movimiento con ayuda de un equipo especialmente preparado para la enseñanza del movimiento (formado por un carrito, un tope para el carrito, un riel, cinta de papel, papel de calco, cronovibrador, hilo de nailon, polea, portapesas con pesas y fuente de alimentación).



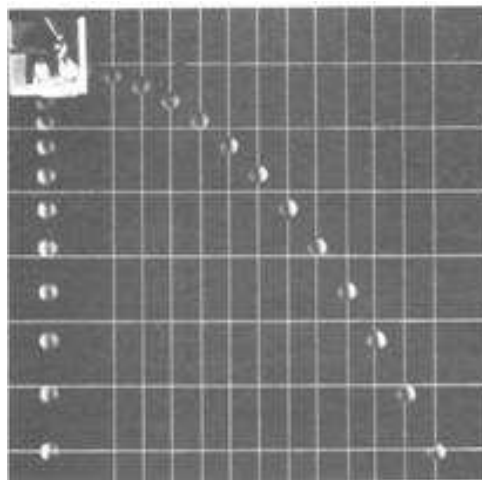
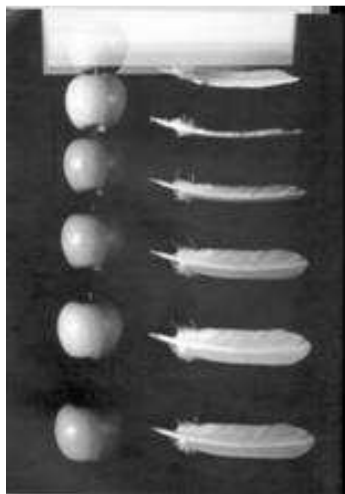
La idea es que si se une el hilo de nailon por un lado al carrito y por el otro, tras pasarlo por la polea, al portapesas se puede ver como se desplaza el carrito. El cronovibrador produce marcas a un ritmo constante que podremos registrar y posteriormente medir y analizar los resultados. Se pueden realizar medidas con diferentes pesos y comparar los resultados. Puede incluso prepararse para analizar el movimiento rectilíneo uniforme tirando manualmente del hilo de nailon o utilizando un pequeño motor que proporcione una velocidad constante. También, si no se dispone del cronovibrador, se puede grabar y después analizar las imágenes.

En vez del cronovibrador pueden emplearse puertas de paso con células fotoeléctricas que permitan registrar los tiempos de paso del carrito por cada una de ellas. Sin embargo, estas puertas de paso pueden no encontrarse fácilmente en un laboratorio escolar mientras que, como el cronovibrador es un equipo más antiguo, puede ser más factible que se encuentre a disposición del profesor y de los alumnos.

En caso de no disponer tampoco de todo el equipo necesario, se puede realizar un montaje mucho más sencillo tal y como se muestra en la imagen.



3.- Si se dispone de una cámara estroboscópica (o de destellos) se puede analizar con ella un lanzamiento vertical. Si no, puede hacerse con un video, que puede buscarse en internet o también puede realizarse con la ayuda de una cámara o de un móvil, o con una cámara de fotos en el modo de disparo continuo.



Esto mismo puede verse a través de la aplicación:

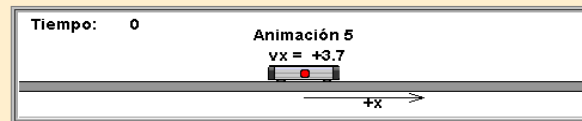
<http://www.educaplus.org/play-304-Principio-de-Independencia.html>

4.- Utilizando aplicaciones de la red como por ejemplo de los siguientes enlaces:

<http://fem.um.es/Fislets/CD/II1Mecanica/II01Cinematica1D/default.html>

En este enlace hay varios applets que permiten ver el estudiar diferentes tipos de movimiento mientras se juega o se hacen ejercicios. Algunos de ellos son:

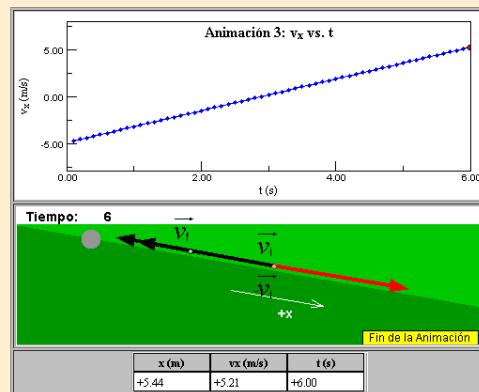
1.3 Ilustración: Aceleración constante y su medida



para añadir el cálculo de velocidad, marque la casilla y después seleccione una animación.

[Animación 1](#) [Animación 2](#) [Animación 3](#) [Animación 4](#) [Animación 5](#)

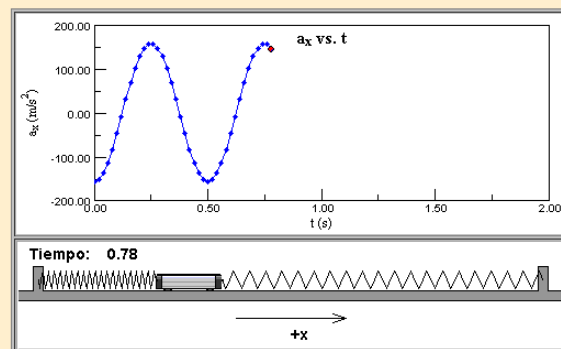
1.4 Ilustración: Movimiento sobre una colina o sobre una rampa



marcha pausa <<paso paso>> inicio

[Animación 1](#) [Animación 2](#) [Animación 3](#)

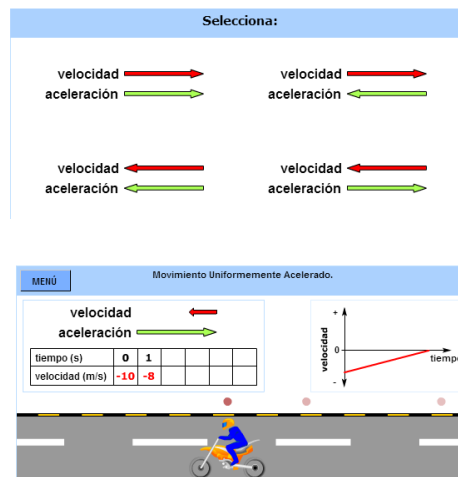
1.9 Problema: Carrito entre dos resortes



marcha pausa <<paso paso>> inicio

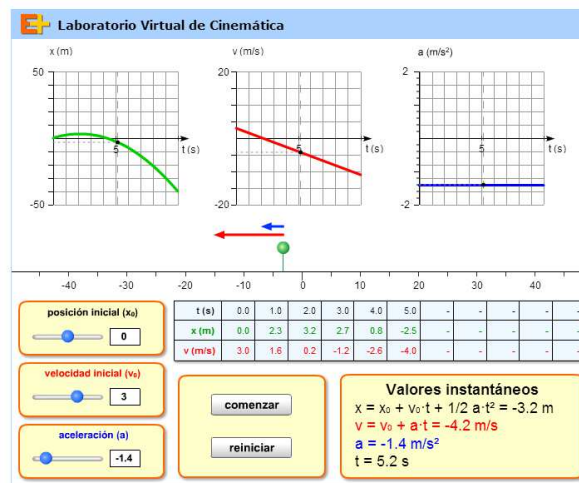
En esta otra página, además de una explicación sobre la aceleración, aparecen al final cuatro aplicaciones para analizar las diferentes posibilidades entre velocidad y aceleración:

http://www.educaplus.org/movi/2_6aceleracion.html



Y por último otro laboratorio virtual donde se pueden manejar incluso los valores del movimiento.

<http://www.educaplus.org/play-299-Laboratorio-virtual-de-cinem%C3%A1tica.html>



En cualquier caso, será necesario realizar una pequeña explicación de que para que haya aceleración debe haber una fuerza actuante (que se estudiará en el apartado de la dinámica).

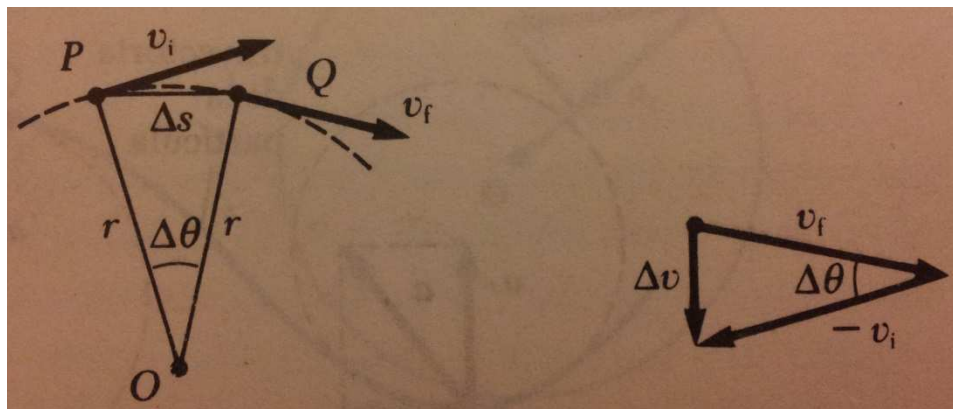
4.3.- ACELERACIÓN NORMAL EN EL MOVIMIENTO CIRCULAR.

Como se ha comentado en el apartado anterior, dentro de la cinemática también se estudia el movimiento circular. Dentro de este estudio, uno de los puntos que más confusión entraña a los alumnos es el de la aceleración lineal. Se juntan varios factores como son el hecho de mezclar los términos lineal y circular, que los vectores posición, velocidad lineal y aceleración lineal ya no tienen la misma dirección y sentido y, sobre todo, el análisis de las componentes de la aceleración.

Uno de los errores que se comete más comúnmente es extrapolar lo estudiado en los movimientos rectilíneos y pensar que si la velocidad lineal es constante, la aceleración es nula es decir, **pensar que en un movimiento circular con velocidad lineal constante la aceleración normal y tangencial tienen que ser cero.**

En muchas ocasiones este error puede comenzar a fraguarse en el principio del estudio de la cinemática ya que, casi al mismo tiempo que se explican los conceptos de aceleración media y aceleración instantánea, se introducen las componentes normal y tangencial en los movimientos curvilíneos.

Si se tiene una partícula describiendo un movimiento circular, en un momento t_i ocupará la posición x_i y en un momento t_f posterior ocupará la posición x_f . Para facilitar el estudio, en cualquier tipo de movimiento se puede elegir el sistema de referencia que más interese. En el caso de un movimiento circular interesará un sistema de referencia en el que los ejes estén situados uno en la dirección tangencial al movimiento (eje tangencial) y el otro, perpendicular a éste, en dirección al centro de la circunferencia que describe la partícula (eje normal). Como se ha indicado anteriormente, la aceleración instantánea de una partícula es la variación de la velocidad en un intervalo de tiempo $\Delta t = t_f - t_i$ cuando este intervalo tiende a cero. Es decir,



$$a \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

Esta expresión sigue siendo válida para el caso del movimiento circular pero hay que tener en cuenta que la velocidad es una magnitud vectorial que puede variar en módulo, dirección y sentido. Esto quiere decir que la aceleración de la partícula tendrá una componente que dependerá únicamente de la variación del módulo de la velocidad y tendrá otra componente que dependerá de la variación de la dirección del vector velocidad.

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d(v\vec{u}_t)}{dt} = \frac{dv}{dt}\vec{u}_t + v\frac{d\vec{u}_t}{dt}$$

Para calcular cuánto vale la componente de la aceleración derivada de la variación de la dirección del vector velocidad se usará trigonometría. Como, además, es el caso que interesa se supondrá que el módulo de la velocidad se mantiene constante. Si se resta el vector \vec{v}_i del vector \vec{v}_f (es lo mismo que sumar $-\vec{v}_i$ a \vec{v}_f) se obtiene un vector $\overline{\Delta v}$ cuyo punto de aplicación es el mismo que el del vector \vec{v}_f , su dirección es la dirección que pasa por el extremo del vector \vec{v}_i , su sentido es hacia el vector \vec{v}_i y su módulo será la distancia entre el punto de aplicación de \vec{v}_f y el extremo de \vec{v}_i . Cuando $\Delta t \rightarrow 0$, la velocidad apenas habrá variado su dirección por lo que la resta vectorial $\vec{v}_f - \vec{v}_i$ será la resta de dos vectores que pueden suponerse paralelos por lo que $\overline{\Delta v}$ tendrá la dirección perpendicular a \vec{v}_f y sentido hacia el centro de la circunferencia descrita por la partícula, es decir, en el eje normal. Se tiene así que la aceleración tendrá una componente tangente a la trayectoria que depende de la variación del módulo de la velocidad y una componente normal a la trayectoria que depende de la variación de la dirección de la velocidad. Estas dos componentes se llaman aceleración tangencial y aceleración normal.

Si se aplica trigonometría, los triángulos $r - \Delta s - r$ y $(-v_i) - \Delta v - v_f$ son semejantes y por tanto

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta s}{r}$$

Como $\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ despejando se tiene $\Delta v = \vec{a}\Delta t$ y sustituyendo en la expresión anterior

$$\frac{\vec{a}\Delta t}{v} = \frac{\Delta s}{r}$$

$$\vec{a} = \frac{v \Delta s}{r \Delta t}$$

Si se vuelve a considerar que $\Delta t \rightarrow 0$, se ha visto que Δv apunta al centro de la trayectoria del círculo y, dado que la aceleración está en la dirección de Δv , también apuntará hacia el centro de la trayectoria. Además, en este supuesto $\frac{\Delta s}{\Delta t}$ se aproxima a la velocidad v . Por lo tanto, cuando $\Delta t \rightarrow 0$ la aceleración normal es

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Y la aceleración total quedaría

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_n = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t + v \frac{d\vec{u}_t}{dt} = \frac{dv}{dt} \vec{u}_t - \frac{v^2}{r} \vec{u}_n$$

Aquí se puede observar cómo, aunque la velocidad sea constante, existe una aceleración.

Para que los alumnos comprendan mejor el comportamiento de una partícula en movimiento se plantean las siguientes acciones:

1.- Plantear ejemplos cotidianos en los que se presenta la aceleración centrípeta y que pueden discutirse y analizarse en clase como por ejemplo el funcionamiento de una noria, la rotación de la Tierra entorno al Sol o de la Luna entorno a la Tierra, las órbitas de los satélites, los lanzamientos de disco y martillo o un coche tomando una curva con o sin peralte y con o sin derrape.

2.- Se Puede ver el efecto de la aceleración centrípeta a través de varias experiencias.

En la primera de ellas, se necesitan dos objetos que actúen de pesos y cuya masa sea diferente, una cuerda o hilo y una pajita o un tubo. Se pasa la cuerda por el tubo y se ata cada uno de los pesos a un extremo de la cuerda. En principio, el objeto de mayor masa (en adelante M) arrastrará al de menor masa (en adelante m) que se detendrá en el extremo del tubo. Sin embargo, si se le da un impulso a m para que gire, M no caerá mientras el primero no pare o reduzca su velocidad de giro. Y si se aumenta la velocidad de giro de m , el elemento M ascenderá. Esto sucede porque, al hacer girar el objeto m aparece una aceleración centrípeta. Una aceleración actuando sobre una masa da lugar a una fuerza que, en este caso, compensa el peso del objeto M . A mayor velocidad, mayor aceleración y mayor fuerza y viceversa.



En la segunda, se empleará un vaso o un cubo con cierta cantidad de agua. Si se agarra el recipiente por el borde o el asa y se gira en un plano vertical colocándolo en el punto más elevado con la abertura hacia abajo, el agua se derrama por la acción de su propio peso. Sin embargo, si este movimiento se hace más rápido y completando el giro se observa que el agua se mantiene dentro del recipiente. La explicación a este hecho es que la fuerza para iniciar el movimiento se ejerce sobre el recipiente, no sobre el agua. Al tener una velocidad aparece una aceleración centrípeta que da lugar a una fuerza centrípeta que es la encargada de modificar la trayectoria del recipiente. El agua, si no fuese porque se encuentra encerrada entre las paredes del recipiente, no tendría que haber cambiado su estado de reposo. Por tanto, el movimiento del agua viene delimitado por los laterales y el fondo del recipiente. Una vez ya en movimiento, si el recipiente no tuviese paredes, el agua seguiría por inercia la dirección tangente a la trayectoria del recipiente, curvándose debido al efecto de la gravedad sobre ella. Por tanto, la primera conclusión que se puede sacar es que el agua se derramaría si la abertura del recipiente se encontrase orientada en el sentido de la rotación del recipiente. Ahora bien, para que el peso de la masa de agua tampoco la derrame, la velocidad necesaria debe ser tal que la aceleración centrípeta no sea menor que la aceleración de la gravedad. En estas condiciones, el agua tiende a seguir una trayectoria que se encontrará fuera de la trayectoria recorrida por el recipiente y no podrá quedar rezagada respecto a él.

En la tercera experiencia se utilizará una percha y una moneda de 5 ó 10 céntimos. Se deforma la percha hasta formar un rombo o cuadrado y se sujeta por el vértice opuesto al gancho de colgar. En éste se va a colocar la moneda en equilibrio. Una vez que la moneda esté en equilibrio, se hace girar la percha alrededor de nuestro dedo.

<http://www.youtube.com/watch?v=nbLygDDHgkQ>

En este caso la explicación es similar a la del recipiente con agua. Al girar la percha, la moneda se mantiene en su posición por el rozamiento con el material de la percha. Durante su rotación, la moneda tiende a seguir una trayectoria tangente a la curva descrita por la percha. Debido a la existencia de velocidad, aparece una aceleración centrípeta que da lugar a una fuerza centrípeta. Esta fuerza centrípeta es la causante de la modificación de la trayectoria de la percha. Si la aceleración centrípeta compensa la aceleración de la gravedad, la moneda no caerá.

3.- Utilizando aplicaciones de la red como por ejemplo de los siguientes enlaces:

<http://www.educaplus.org/games.php?search=fuerza%20centr%C3%ADpeta&HPSESSID=8fa93b17d67a8002578a56f64ce7537e>

En este enlace hay varios ejemplos que permiten estudiar la aceleración centrípeta en diferentes casos conocidos.

Fuerzas en el giro de los planetas

F_c t = 10.9 días

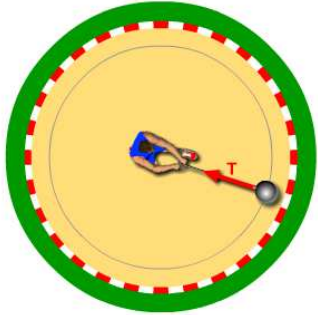
iniciar
pausa
reiniciar

El sistema Tierra-Luna no está a escala

La fuerza centrípeta que hace girar a un satélite es equivalente a la fuerza de atracción gravitatoria entre el planeta y el satélite:

$$G \cdot \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Lanzamiento horizontal de un martillo

$$T = \frac{m \cdot v^2}{R}$$
$$T = m \cdot \omega^2 \cdot R$$


Soltar
Reiniciar

Fuerzas en el giro del coche

$$F_c = m \cdot v^2 / R = 900 \text{ kg} \cdot (8.1 \text{ m/s})^2 / 100 \text{ m} = 590.49 \text{ N}$$


Rapidez $v = 29 \text{ km/h}$

En esta otra página, se puede estudiar la modificación de la aceleración cuando se varía bien la velocidad bien el radio de la curva.

<http://www.educaplus.org/play-314-Aceleraci%C3%B3n-normal.html?PHPSESSID=06136d1777a2149c1ee819357c446ef0>

Y por último, en esta otra página, además de una explicación sobre la aceleración centrípeta, se explica y se puede observar en la aplicación el comportamiento de un vehículo al describir una trayectoria circular en función de su velocidad, el radio de curvatura y el coeficiente de rozamiento del asfalto con la rueda.

http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/dinamica/circular/din_circular.htm

4.4.- PESO Y PRESIÓN.

Se define la **fuerza** como toda causa capaz de provocar una deformación o un cambio en el estado de movimiento de un cuerpo. Es el resultado de una interacción entre dos cuerpos que están o no en contacto. Es una magnitud vectorial ya que su efecto depende de su módulo, dirección, sentido y punto de aplicación. Sin embargo, su efecto también va a depender de la superficie sobre la que actúa, cuanto menor es la superficie mayor es su efecto. Para cuantificar el efecto de las fuerzas se emplea la **presión**, que se define como la fuerza ejercida por unidad de superficie. Es una magnitud escalar, que queda perfectamente definida por su valor y su unidad.

$$p = \frac{F}{S}$$

Si lo que se tiene es un líquido en el cual se introduce un objeto, el líquido ejerce una fuerza sobre el objeto en todas las direcciones y mayor a mayor profundidad. El objeto estará sometido a una presión que depende de la fuerza que ejerce el líquido y de la superficie del objeto. Esta presión se denomina **presión hidrostática** y su valor será:

$$p = \delta_{\text{liquido}} \cdot h \cdot g$$

Y depende de la columna de líquido que hay sobre el cuerpo. Si se quiere calcular la diferencia de presión entre dos puntos del interior del líquido que se encuentren a distinta profundidad ($h_2 > h_1$) se usará la siguiente expresión

$$p_2 - p_1 = \delta_{\text{liquido}} \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

Si en vez de un líquido se tiene un gas, como también es un fluido se puede aplicar lo indicado anteriormente para los líquidos. Pero al ser fluidos compresibles, su densidad varía mucho con las condiciones y no resulta tan fácil hacer cálculos sobre la fuerza o la presión en el interior de un gas. Un caso concreto de gas es el aire que forma la atmósfera y ejerce presión sobre cualquier cuerpo que se encuentre en él, dependiendo esa presión de la columna de aire que se encuentra por encima de nuestras cabezas. Esta presión se denomina **presión atmosférica**.

En este caso, uno de los errores que se comete es **confundir la fuerza con la presión**, sobre todo en el caso de que la fuerza sea el peso.

El peso de un cuerpo (P) es la fuerza con la que la Tierra lo atrae. Cuando un cuerpo cae por acción de su propio peso, se mueve con la aceleración de la gravedad. Si se considera el principio fundamental de la dinámica se tiene

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \rightarrow \vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Para explicar la diferencia entre fuerza (peso) y presión se tienen que presentar ejemplos en los que se vea cómo afecta la presión pero que muestren claramente que los resultados no son una modificación de la fuerza aplicada.

1.- Se puede empezar con una prueba bastante subjetiva. Consiste en aplicar una fuerza sobre la mano o el brazo de un compañero primero apretando solo con un dedo y después, con la misma fuerza, apretando con la palma entera para comprobar las diferencias que se notan. Esto mismo se puede hacerlo pisando con un tacón fino o con toda la planta del pie.

2.- Se puede observar que ocurre cuando una persona se pone de pie en una cama elástica o en un colchón y lo que ocurre cuando se pone tumbado o bien, empleando un ladrillo o algún objeto de cierto peso, observar qué es lo que ocurre cuando se coloca sobre un lecho de material deformable (p.e. arcilla, plastilina, arena,...) sobre dos lados de distinta superficie. Tanto en el caso de que la persona se coloque de pie como en el caso de que el objeto se coloque sobre el lado de menor superficie, la deformación será mayor que en el otro caso pero tanto la persona como el objeto utilizado pesarán lo mismo en cada una de las pruebas, es decir, ejercerán la misma fuerza.

3.- Se puede ver como se clava un clavo más fácilmente por la punta que si se intenta clavar por la cabeza o usando un clavo al que le hayamos quitado la punta. Esto puede comprobarse bien en un plano vertical, bien en un plano horizontal.

4.- Si se llena un vaso con un poco de agua, se tapa con un papel (no poroso) o con una lámina plástica y se le da la vuelta, la lámina no se caerá. En este caso, la presión atmosférica actúa desde la parte inferior del vaso y no desde arriba como si fuese el peso del aire el que provoca esa presión. La explicación de este hecho es que, al tapar el vaso, el agua ejerce una presión de valor p_{gh} mientras que en la zona que está por encima del agua la presión es igual a la presión atmosférica. Por encima de la lámina la presión también es la presión atmosférica. Al darle la vuelta al conjunto, el peso del agua hace que caiga sobre la lámina ejerciendo sobre ésta la presión anteriormente indicada. La lámina se deforma y provoca que el volumen de aire atrapado entre el agua y el vaso aumente, disminuyendo su presión y quedando, por tanto, por debajo de la presión atmosférica. La lámina no se cae porque la presión P

del volumen de aire del interior del vaso más la presión del agua es igual a la presión atmosférica que está en el exterior del vaso y, por tanto, también debajo de la lámina. Si en vez de la lámina (o cualquier otro material deformable) se hubiese usado un material más resistente, el volumen donde se encuentra encerrado el aire no hubiese aumentado y su presión hubiese seguido siendo la atmosférica. Si a esta presión atmosférica se le suma la presión ejercida por el agua, el resultado sería una presión superior a la atmosférica por lo que el material no resistiría el empuje ($P_{\text{total}} > P_{\text{atm}}$) y la tapa se caería, vertiéndose también el contenido del vaso. Puede comprobarse también este caso para corroborarlo.

4.5.- DIRECCIÓN DE ACTUACIÓN DE LA PRESIÓN.

Los conceptos sobre la presión se han presentado en el apartado anterior y aquí son igualmente válidos. Pero para demostrarlo se tienen que utilizar ejemplos relacionados con la presión hidrostática y con la presión atmosférica.

Cuando se ha analizado la presión como efecto de la aplicación de una fuerza sobre una superficie se han visto ejemplos en los que una fuerza aplicada produce un efecto, normalmente en la dirección de la aplicación. Por eso, a veces se puede **pensar, erróneamente, que la presión solo actúa en una dirección.**

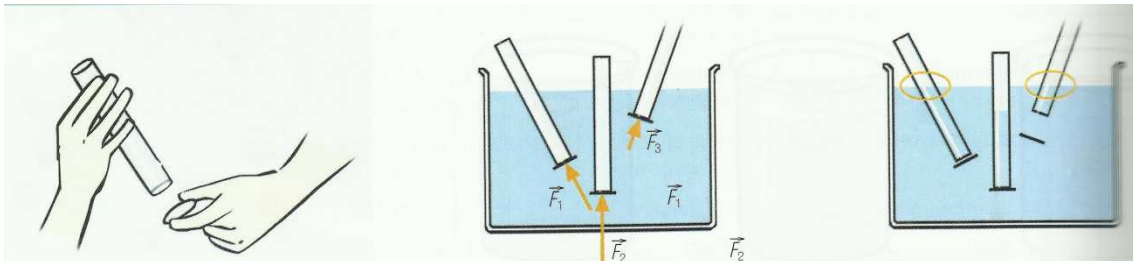
Tanto en el caso de la presión hidrostática como en el de la presión atmosférica se tiene un fluido que rodea a los objetos y a las personas. En el caso de las personas, no notan la presión atmosférica como una fuerza neta hacia abajo porque la presión ejercida por la columna de aire que se encuentra entre ellas y el límite superior de la atmósfera es contrarrestada por la presión ejercida por el aire que se encuentra por debajo de suya.

Ahora bien, la pregunta será como se puede demostrar la presencia de fuerzas en todas las direcciones. Veamos algunos ejemplos.

1.- Este ejemplo ya se ha visto en el apartado anterior como muestra de que no todas las fuerzas que actúan en dirección vertical respecto del suelo actúan como peso. Si llenamos un vaso con un poco de agua, lo tapamos con un papel y le damos la vuelta, el papel no se caerá. En este caso, la presión atmosférica actúa desde la parte inferior del vaso y no desde arriba como si fuese el peso del aire el que provoca esa presión.

2.- Se puede introducir en un recipiente de agua tubos abiertos por ambos lados a los que en un extremo se les ha unido un elemento que actúe como tapa. Dentro del recipiente, se podrán mover los tubos como se quiera (siempre que se mantenga el extremo abierto por encima del nivel del agua) y se observa que las tapas no se separan de los mismos. Esto significa que el agua ejerce una fuerza sobre la tapa y perpendicular a esta sea cual sea la posición en la que se encuentre el conjunto tubo+tapa. Se puede incluso llenar los tubos con agua. Sin embargo, cuando el nivel

del agua en el interior del tubo llegue al mismo nivel que el recipiente, se igualarán las presiones y la tapa se separará del tubo.



3.- Con la ayuda de una jeringuilla grande y de unos globos pequeños también se puede realizar la siguiente experiencia. Se saca el émbolo de la jeringuilla y en su interior se introduce el globo un poco hinchado. Se vuelve a colocar el émbolo y se tapa el orificio de salida de la jeringuilla con el dedo. Si se empuja el émbolo, veremos que llega un momento en el que el globo parece que se deshincha. Por el contrario, si se tira del émbolo llega un momento en el que el globo se hincha. Esto se debe a que, cuando se presiona el émbolo, el aire en el interior se comprime, es decir el volumen dentro de la jeringuilla se reduce y, por la Ley de Boyle, su presión aumenta. Al aumentar la presión externa sobre el globo, el volumen de este se reduce hasta que la presión interna iguale a la externa. En el caso en el que se tira del émbolo, el aire presente en el interior de la jeringa se expande y, de nuevo por la Ley de Boyle, su presión disminuye. Al disminuir la presión externa sobre el globo, el volumen de este aumenta hasta que la presión interna iguale a la externa.

4.- Se puede llenar ligeramente una lata de refresco con agua y calentarla hasta que llegue a ebullición. En este momento, el aire que había en la lata se sustituye progresivamente por vapor de agua. Rápidamente se introduce en agua con hielo con la abertura hacia abajo consiguiendo así que el vapor de agua vuelva a su estado líquido, que ocupa menos volumen. Debido a la diferencia de presión que se produce entre el interior de la lata y el exterior la lata se deformará ya que la fuerza ejercida por el aire del exterior es mucho mayor que la producida por el aire interior.

5.- Se puede utilizar una botella de plástico y abrirla en un lugar elevado (p.e. montaña). Al cerrarla, se habrá conseguido tener en el interior aire que ejerce una presión inferior a la atmosférica del aula. Al bajar del lugar elevado se producirá una situación en la que la presión exterior es mayor que la interior y se verá como la botella se deforma. Esta es una experiencia muy sencilla y óptima para realizarla en excursiones escolares.

En estos dos últimos ejemplos, la lata y las botellas se deformarán por el punto más débil por lo que se podrá observar que la fuerza actúa en todas las direcciones.

6.- Se pueden simular unos pulmones con la ayuda de una botella y unos globos. Aquí la fuerza que va a modificar la presión es la que apliquemos sobre el globo que simula el diafragma y va a suponer que intente entrar aire del exterior o que salga.



4.6.- CALOR Y TEMPERATURA.

La termodinámica es una de las ramas más generales de la Física clásica y con más aplicaciones en la enseñanza y en la práctica. Dos de sus conceptos básicos son el **calor** y la **temperatura**.

Estos dos conceptos, a menudo, se utilizan como sinónimos o se utilizan incorrectamente (desde un punto de vista científico) en el lenguaje habitual. Esto hace que, cuando se estudien estos conceptos en los capítulos de termodinámica, uno de los errores más habituales sea **considerar que el calor y la temperatura son sinónimos** y se empleen los términos indistintamente. Sin embargo, hay que aclarar que, aunque ambos conceptos estén relacionados entre sí, son diferentes.

La materia está formada por partículas (átomos y moléculas) y estas partículas se encuentran en movimiento (rotando alrededor de sí mismas, vibrando o chocándose unas con otras) aunque el cuerpo que constituyen esté quieto. En los sólidos sus partículas vibran continuamente alrededor de su posición de equilibrio; en los líquidos se mueven con libertad, aunque confinadas a un determinado volumen; en los gases se mueven con libertad, ocupando todo el espacio disponible. Este movimiento no es uniforme, es decir, unas partículas se mueven más rápido que otras. Y por este movimiento, cada una de las partículas tiene cierta energía. La suma de las energías cinéticas de todas las partículas que componen un cuerpo la llamamos **energía térmica** y el valor medio de la energía cinética de esas partículas es lo que llamamos **temperatura**, que es independiente del tamaño y del tipo de objeto (incluido del material).

Cuando se toca un objeto, se nota su temperatura y se asocia al grado de “caliente” o “frio” del cuerpo cuando éste se toca. Esto da una sensación cualitativa, pero los sentidos no son confiables y, a menudo, nos engañan. Por tanto, se necesita un método confiable y reproducible para establecer lo relativamente “caliente” o “frio” que está el cuerpo, es decir, para establecer la temperatura del cuerpo. Un **termómetro** es un dispositivo utilizado para definir y medir la temperatura de un sistema, se basan en el cambio de alguna propiedad física con la temperatura y permiten establecer una escala de temperaturas en función de dicha variación. Un termómetro en equilibrio térmico con un sistema mide tanto la temperatura de éste como la temperatura propia.

Los cuerpos, además de estar “calientes” o “fríos”, pueden calentarse o enfriarse. Cuando un cuerpo se calienta, es decir, cuando la temperatura asciende, el cuerpo aumenta su energía térmica y esto se produce porque el conjunto de sus partículas se mueven más rápido (aunque algunas pueden seguir siendo muy lentas). Por el contrario, cuando un cuerpo se enfría, es decir, cuando la temperatura desciende, el cuerpo disminuye su energía térmica y esto se produce porque el conjunto de sus partículas se mueven más lentamente (aunque algunas pueden seguir moviéndose más rápidamente). Esto se cumple independientemente del número de partículas que conforme el cuerpo.

Cuando se habla de **calor** se debe diferenciarlo de la energía interna de un cuerpo y, por tanto, de la temperatura a la que se encuentra ese cuerpo. La palabra calor sólo debe usarse cuando se describe la energía que se transfiere de un lugar a otro. Así pues, se puede decir que el calor es la energía transferida entre cuerpos a distinta temperatura y se puede decir que el flujo de calor es la transferencia de esa energía, el procedimiento, que se lleva a cabo como consecuencia de las diferencias de temperatura.

Un cuerpo recibe calor cuando recibe energía y pierde calor cuando la cede y este calor cedido o recibido (la energía perdida o ganada) va a provocar un aumento o disminución de su energía térmica y, por tanto, un aumento o disminución de su temperatura. El calor que un cuerpo cede o recibe depende de la masa, de su variación de temperatura y de su calor específico, que es la cantidad de energía necesaria para aumentar un grado Celsius la temperatura del cuerpo por unidad de masa del cuerpo. El calor se transmite por conducción, por convección y por radiación y los efectos son variación de la temperatura, dilatación y/o cambios de estado.

Para comprobar todos los conceptos explicados se pueden realizar las siguientes experiencias.

1.- Para comprobar cómo nuestros sentidos pueden engañarnos se pueden poner dos ejemplos. En el primero de ellos, si se saca de un congelador un recipiente metálico con cubos de hielo y un paquete de algún alimento congelado, el recipiente

metálico se siente más frío aun cuando ambos se encuentran a la misma temperatura. Esto se debe a que el metal es un mejor conductor del calor que el cartón. En el segundo ejemplo se pone un recipiente con agua fría, otro con agua tibia y otro con agua caliente. Se mete un dedo en el recipiente de agua fría y otro en el de agua caliente y se mantienen durante cinco segundos. Pasado ese tiempo se sacan y se meten en el de agua tibia. En el dedo que estaba en el agua fría se sentirá que ahora el agua está caliente, pero en el dedo que estaba en el agua caliente se sentirá que ahora el agua esta fría.

2.- Para comprobar el efecto de la temperatura en el movimiento de agitación de las partículas que componen la materia se puede realizar la siguiente experiencia. Se toman tres vasos con agua distintita temperatura: caliente, templada y fría. A continuación se añaden unas gotas de tinta o colorante a cada uno de ellos y se observará que cuanto mayor es la temperatura, más rápidamente se colorea el agua. Esto es debido a que las partículas del agua, al moverse, chocan con las del colorante y éste se expande. Como las partículas del agua caliente se mueven a mayor velocidad que las del agua fría, chocan con las partículas del colorante más fuerte y más frecuentemente y hacen que se distribuyan por el agua más rápidamente que en los casos con el agua más fría.



3.- Para comprobar la diferencia entre calor y temperatura se puede realizar la siguiente experiencia. Se coloca un cubito de hielo sobre un plato de metal y otro sobre un plato de madera y se deja que se vayan descongelando. Obviando el efecto de la temperatura ambiente, cuyo efecto supondremos igual en ambos casos, se podrá observar cómo el cubito que se encuentra en el plato de metal se derrite más rápido que el que se encuentra en el plato de madera. Se puede analizar así como existe una transferencia de energía entre el hielo y los platos (porque el hielo se está derritiendo), que depende del material empleado (se derriten a diferente velocidad) y que, en este caso, produce un cambio de estado pero no un cambio de temperatura.

4.- También se pueden realizar otras dos experiencias para comprobar el efecto del calor. En la primera de ellas, se puede comparar el efecto de colocar sobre una llama un globo hinchado solo con aire y otros globos hinchados pero en cuyo interior hemos colocado otros elementos (p.e. agua, tierra,...). Y en la segunda, se puede ver cómo es el flujo de calor a través de dos varillas de diferente material (aluminio, cobre, hierro, plástico, cristal,...) de la misma longitud y grosor. Sobre las varillas se colocará en las mismas posiciones algún elemento que se vea afectado por la variación de temperatura (gotas de cera) y se calentaran colocando una llama en uno de sus extremos. Se podrá observar como la cera se va derritiendo a diferente velocidad según el material del que esté realizada la varilla, es decir, en el flujo del calor influye en material.

4.7.- ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

El **electromagnetismo** es la rama de la Física clásica que estudia los fenómenos eléctricos y magnéticos y su relación. Cada uno de los campos por si solo ya presenta cierta dificultad a la hora de comprender los conceptos, descripciones y demostraciones necesarios para su desarrollo, entre otros motivos porque se trata de elementos y fenómenos que en muchas ocasiones no se ven a simple vista. Si a esto se le une que muchas de las expresiones utilizadas son similares en ambos casos, que tanto para el campo eléctrico como para el magnético se estudia su efecto sobre cargas eléctricas y que ambos están relacionados (una corriente eléctrica produce un campo magnético y un campo magnético variable produce una corriente eléctrica) ya se tiene la mezcla perfecta para favorecer los errores y equivocaciones.

En este sentido, errores habituales son confundir el **polo norte y el polo sur** de un imán con una región donde **se acumulan cargas positivas y negativas** respectivamente y, teniendo en cuenta que no se puede tener un monopol magnético y se tendría un elemento cargado positivamente en un extremo y negativamente en el otro, considerar que el imán tiene un **comportamiento similar al de una batería** y las **líneas de campo son líneas por las que circula corriente eléctrica**.

Si se disponen dos cargas eléctricas puntuales, q y q' , estas interactúan entre sí mediante fuerzas de atracción si son de distinto signo o de repulsión si son del mismo signo. Para cuantificar esa fuerza se tiene la **Ley de Coulomb** que dice que la fuerza de atracción o repulsión que se ejercen mutuamente dos cargas eléctricas puntuales q y q' es directamente proporcional al valor de las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia r que las separa.

$$F = K \frac{qq'}{r^2}$$

La fuerza tiene la dirección de la recta que une ambas cargas y es una fuerza de repulsión si ambas cargas son del mismo signo ($F>0$) o de atracción si las cargas son de signo contrario ($F<0$). Desarrollando esta expresión se tiene:

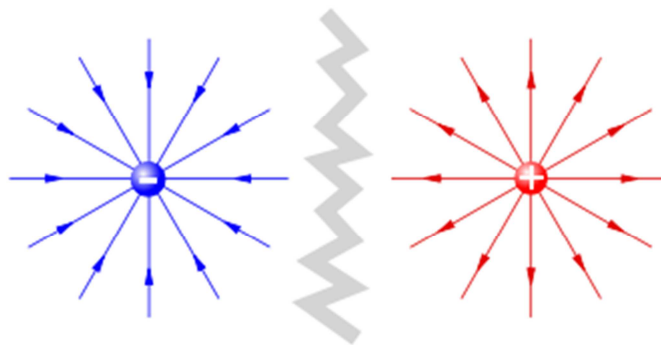
$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{qq'}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_r\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2}$$

Donde ϵ es la constante dieléctrica o permitividad del medio cuyo valor para el vacío es ϵ_0 y su valor $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2\text{N}^{-1}\text{m}^{-2}$ y para un medio material aparece tabulada en forma de constante dieléctrica relativa ϵ_r .

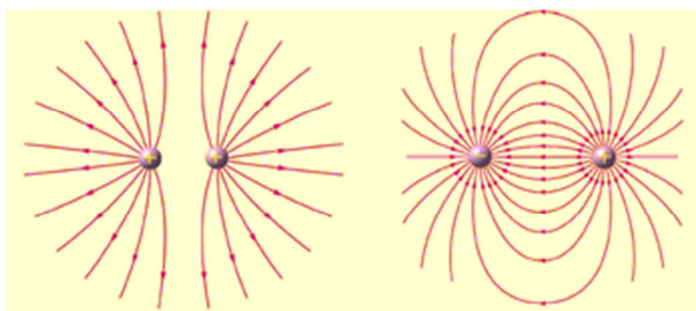
El campo eléctrico es una propiedad del espacio que rodea a una carga eléctrica y se manifiesta por medio de las fuerzas que aparecen cuando se sitúan en él otras cargas. Se puede entender que cada carga crea su propio campo y que este interactúa con el resto de las cargas. Se puede decir que **el campo eléctrico** \vec{E} es una magnitud vectorial definida en cada punto del espacio como la fuerza eléctrica \vec{F} que actúa sobre una carga de prueba positiva colocada en ese punto y dividida por la magnitud de la carga de prueba.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q'} = \frac{1}{q'} \left(K \frac{qq'}{r^2} \right) = K \frac{q}{r^2}$$

Podemos representar gráficamente el campo a través de líneas de campo eléctrico. Para dos cargas puntuales independientes, una positiva y otra negativa, las líneas de campo serían:



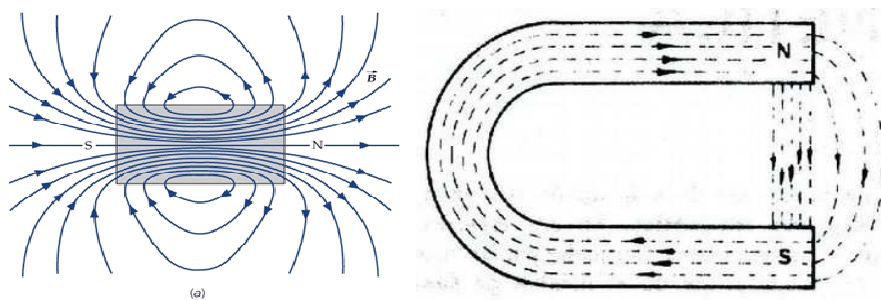
Y para dos cargas que interactúan serían:



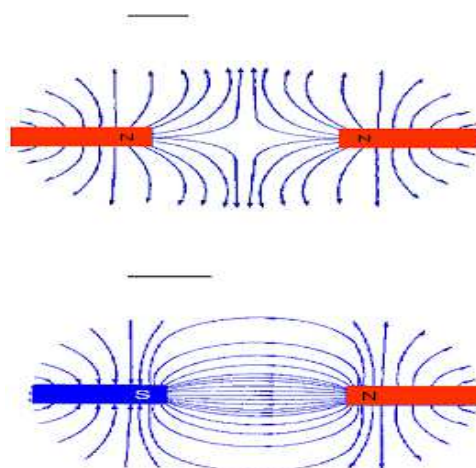
Cuando se habla de **magnetismo**, se habla de una propiedad intrínseca a algunos materiales que les permite ejercer una fuerza de atracción sobre algunos metales y, como se descubriría más adelante, sobre cargas eléctricas en movimiento. Estos materiales magnéticos se conocen comúnmente como **imanes**. Un estudio más detallado de los imanes y su comportamiento permite conocer que la fuerza magnética ejercida por un imán disminuye proporcionalmente al cuadrado de la distancia a la que nos encontremos del imán (igual que ocurría con la fuerza eléctrica) y que dos imanes de la misma polaridad se repelen y dos imanes de diferente polaridad se atraen (igual

que ocurría con las cargas eléctricas). Pero, a diferencia de lo que ocurre con las cargas eléctricas que pueden ser positivas o negativas, los imanes no pueden tener una única polaridad sino que en un extremo (lado) tienen una polaridad y en el otro tienen la polaridad opuesta, por lo que cuando se dice que se acercan dos imanes de la misma polaridad se hace referencia a que se acercan los polos de la misma polaridad de dos imanes y cuando se dice que se acercan dos imanes de diferente polaridad se hace referencia a que se acercan los polos de distinta polaridad de dos imanes.

Análogamente al campo eléctrico, se podría definir el **campo magnético** \vec{B} como una magnitud vectorial definida en cada punto del espacio, cuya dirección es la de la fuerza que actúa sobre el polo norte de un imán muy largo colocado en el punto. Y también se puede representar a través de las líneas de campo que en este caso serán del tipo



Como puede verse, depende de la geometría del imán pero el comportamiento será similar, saliendo del polo denominado norte y entrando en el polo denominado sur. Y cuando se enfrentan los polos de dos imanes se pueden tener los siguientes casos y las siguientes líneas de campo:



Una vez explicados los conceptos más importantes y que afectan en nuestro caso, y para intentar solucionar las ideas erróneas de los estudiantes se pueden realizar las siguientes experiencias.

1.- Proponer cuestiones que hagan a los estudiantes plantearse la existencia de cargas eléctricas en el interior de un imán, comentando por ejemplo la naturaleza magnética o no de diferentes elementos (ferrita, hierro, cobre,...), el proceso de fabricación de imanes artificiales, el comportamiento de un imán si se utilizase como elemento en un circuito eléctrico o el comportamiento de la Tierra como un gran imán, su polaridad, el funcionamiento de las brújulas o si las líneas de campo magnético son líneas de corriente.

2.- Si los polos de un imán estuviesen cargados con cargas eléctricas de diferente signo, se establecería entre ellos una diferencia de potencial. Esta diferencia de potencial podría medirse con un voltímetro. Del mismo modo, si las líneas de campo magnético fuesen líneas de corriente se podría medir la corriente que pasa por ellas con un amperímetro. Ya que las líneas de corriente comienzan en un polo del imán para terminar en el otro, se podría conectar el amperímetro directamente a los polos del imán. En ambos casos se puede comprobar que ocurre si se realizan esas medidas. Otra forma de ver si por las líneas de campo circula corriente podría ser, colocando una hoja con limaduras de hierro sobre el imán, visualizar el campo magnético creado por dicho imán y, sobre esas líneas descritas por las limaduras de hierro colocar el amperímetro y medir.

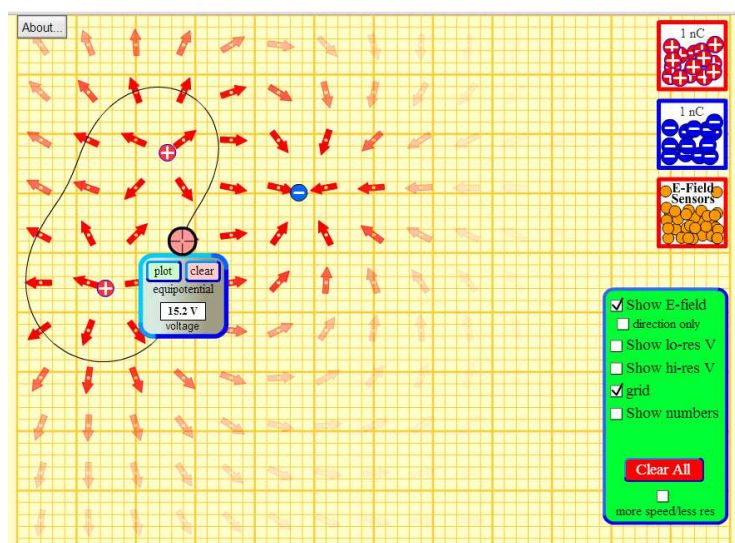
3.- Se puede comprobar el comportamiento del imán al colocarlo como elemento en un circuito eléctrico. Si estuviese cargado y entre sus polos se hubiese establecido una diferencia de potencial se podría utilizar como una batería. Se puede montar un circuito en el que el imán actúe como batería y esté conectado a una bombilla (a través o no de una resistencia pequeña para que no hubiese una elevada pérdida de tensión entre sus bornes) para ver si esta luce o no. Se puede medir tensión e intensidad en los diferentes puntos del circuito para comprobar el funcionamiento. El comportamiento será el mismo independientemente de cómo conectemos los polos del imán al circuito. Tras este ejercicio se puede situar el imán en un circuito formado por una batería y por resistencias. Se analizan la tensión y la corriente en los diferentes nodos y se ve si la presencia del imán o la inversión de los polos del mismo producen el efecto que tendría haber utilizado una batería en su lugar. En realidad, el imán se comporta como una resistencia, más o menos grande en función de lo conductor que sea el material del imán.

4.- Utilizando aplicaciones de la red como por ejemplo de los siguientes enlaces:

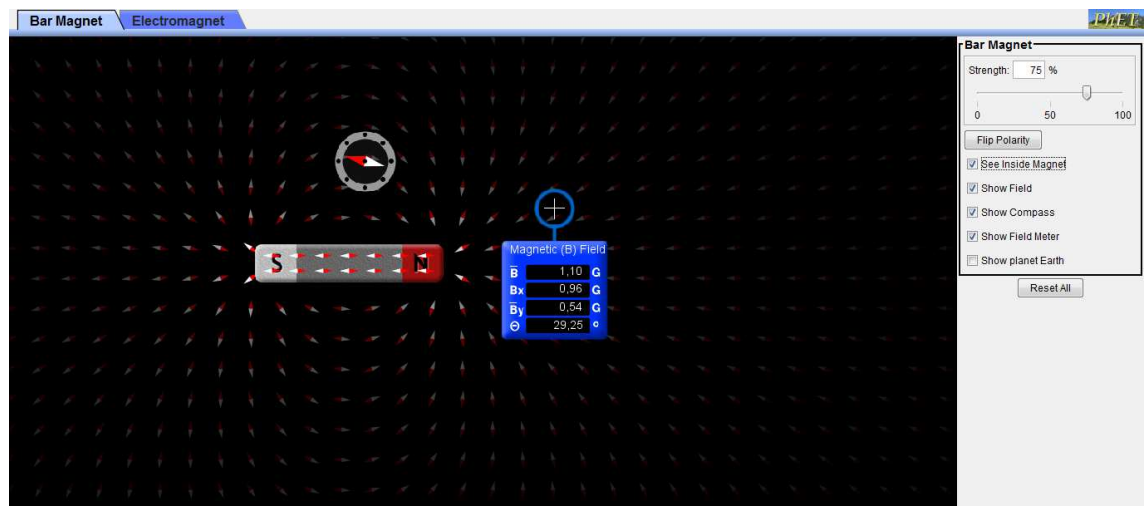
<http://phet.colorado.edu/en/simulations/category/physics/electricity-magnets-and-circuits>

En este enlace hay varios applets que permiten ver el comportamiento de los campos eléctricos y magnéticos así como la inducción electromagnética. Algunos de ellos son:

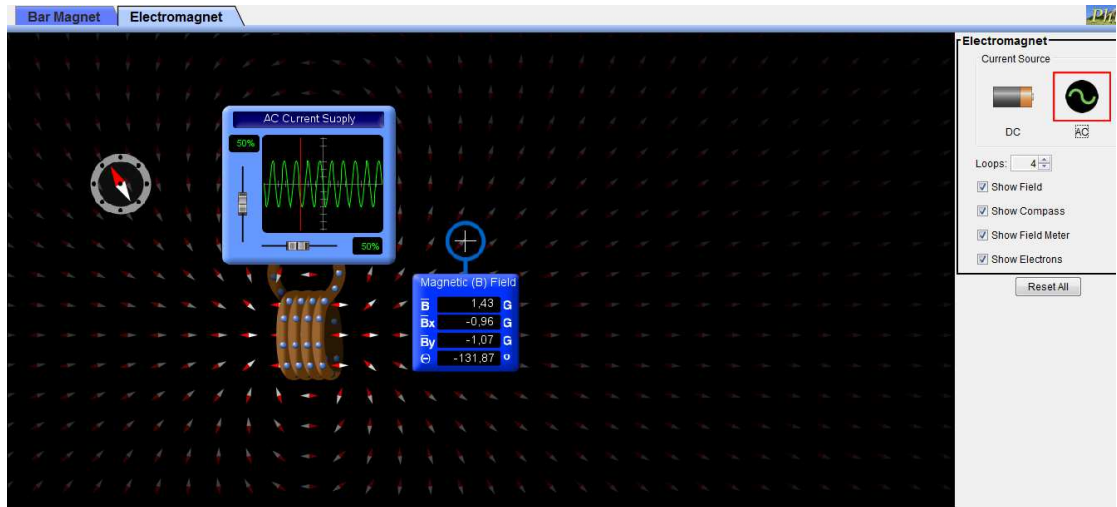
Cargas y campos



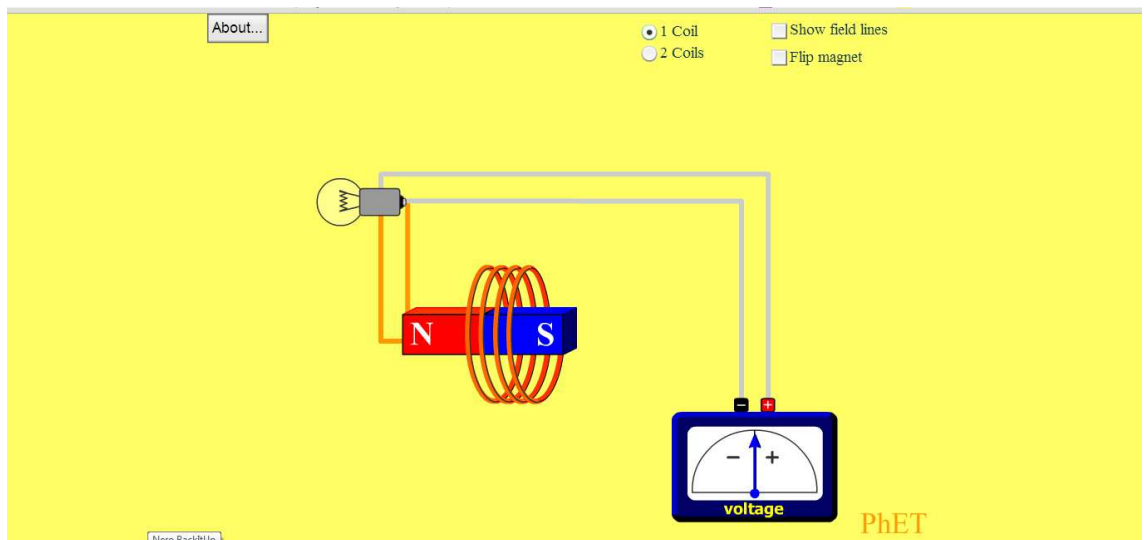
Campo magnético creado por un imán



Campo magnético creado por una variación de la corriente eléctrica



Ley de Faraday



4.8.- CONCEPTO DE CAMPO.

La importancia del concepto de **campo**, en particular *campo de fuerzas*, tanto a nivel científico como técnico es indiscutible. Para la Física supuso poner en duda y superar el marco teórico mecanicista, favoreció la evolución de la Física relativista y cuántica, se han descubierto las ondas electromagnéticas,... Desde el punto de vista técnico, ha permitido el nacimiento de la electrotecnia, la transmisión de señales y la revolución en las comunicaciones lo que ha llevado a la era de la información.

Sin embargo, no resulta sencillo ni su explicación ni su comprensión debido, entre otras razones, a la dificultad de realizar una introducción cualitativa dado el nivel de abstracción de los conceptos implicados, que no se puede relacionar fácilmente con la experiencia cotidiana de los alumnos y, sobre todo, a que las interacciones entre partículas pueden describirse de diversas formas (fuerzas, campos, energías, etc.) y hay que clarificar suficientemente los conceptos, estableciendo sus relaciones, sus diferencias y ámbitos de aplicación para no desorientar al estudiante.

La mayor parte de las situaciones estudiadas en secundaria y bachillerato corresponden a casos estáticos, por lo que se suelen mezclar la teoría newtoniana, que interpreta las interacciones entre cargas o masas mediante fuerzas a distancias e instantáneas, y la teoría de campos, que las interpreta como interacciones locales con el campo existente previamente en el punto donde se colocará dicha carga o masa. Todo ello se hace sin mostrar las limitaciones de la primera, especialmente si los campos varían con el tiempo o su velocidad de propagación esta entorno a la velocidad de la luz, y sin las ventajas que aporta la segunda, al permitir comprender estas situaciones, integrar ramas de la física que inicialmente estaban desconectados, etc.

Para introducir el concepto de campo se puede hacer:

- Como un procedimiento heurístico para calcular la fuerza de interacción; es decir, un modelo útil, un proceso intelectual, matemático, que facilita los cálculos.
- Como una realidad física cuya existencia es esencial para explicar muchas situaciones y procesos en los que están presentes.

Parece lógico entonces que, si la primera forma indicada puede tener limitaciones a la hora de aplicarla y la segunda es válida en cualquier situación, se considere desde un principio que los campos son “reales”, tan reales como las fuentes que los crean. Y esa realidad se hace más evidente cuando las fuentes dependen del tiempo, ya que, entonces, el campo transporta energía y momentos, lineal y angular, como las partículas materiales.

Estudios realizados han determinado que:

- a) Los alumnos consideran el campo como una región del espacio o volumen que delimita la influencia de una masa, carga o imán y no como el agente de la interacción (consideran que la fuerza se debe a las fuentes y no al campo). El campo está vacío de significado (a diferencia de conceptos como masa, carga, fuerza,...). Sigue pensando en términos de fuerza y le resulta innecesario, redundante y complicado.
- b) Los alumnos no llegan a conocer las diferencias que sobre la interacción entre partículas introduce la teoría de campos mediante acciones contiguas ni conocen las ventajas que introduce, como la explicación de nuevos fenómenos como la inducción o las ondas electromagnéticas ni tampoco llegan a relacionar la teoría con sus aplicaciones tecnológicas.
- c) Los alumnos no conocen la interpretación de los aspectos energéticos asociados a la interacción.

Este trabajo se centrará más en el primero de los resultados. Como ya se ha indicado, los estudiantes tienen ideas erróneas sobre el campo. Tienen una visión newtoniana de la interacción, en la que ésta se efectúa entre las partículas y no entre el campo y la partícula y subyace la idea de que la fuerza se debe a las fuentes y no al campo. Se obtienen respuestas similares a que consideran que el campo es una región o zona del espacio donde se pueden detectar fuerzas creadas por una masa, carga o imán, que es la región donde un cuerpo se ve sometido a la fuerza de otro, un espacio donde dos partículas son atraídas o repelidas por su carga.

También puede deberse a que habitualmente se estudia el campo enfatizando principalmente su carácter operativo y utilizando el vector “intensidad de campo” para

calcular la fuerza, sin entrar en discusiones cualitativas que clarifiquen el concepto. Por ello los estudiantes no llegan a diferenciar campo y fuerza.

Por último, también hay estudiantes que confunde el campo con sus efectos y considera que es una zona donde existe gravedad, o por la que circula una corriente eléctrica, o que está magnetizada.

Para intentar solucionar las ideas erróneas de los estudiantes habrá que centrarse en introducir el concepto de campo, realizar discusiones cualitativas en contextos físicos simples, introducir las relaciones ciencia-técnica-sociedad y presentar el campo como agente de la interacción dotado de realidad física, de energía y de momento, con existencia propia independiente de la fuerza.

Para las explicaciones y las actividades se pueden usar indistintamente el campo eléctrico, el campo magnético o el campo gravitacional siendo este último con el que los estudiantes están más familiarizados y tienen mayor percepción de su influencia.

1.- Se pueden comentar situaciones conocidas intentando llegar a situaciones contradictorias y también intentando dar sentido al concepto de campo. Algunas de las cuestiones que se pueden plantear son:

- Se puede empezar comentando la Ley de la gravitación universal de Newton. Según esta, cualquier partícula en el universo atrae a cualquier otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellos. Como ejemplo se puede decir que la Tierra atrae a las personas, a los objetos, a la Luna, a los satélites,...

- Si se pregunta cómo se produce esa atracción posiblemente se obtenga como respuesta que la Tierra ejerce una fuerza sobre el objeto en cuestión.

- Y esa fuerza que ejerce la Tierra, ¿la ejerce a distancia? ¿Y la ejerce de forma instantánea conforme el objeto “aparece”? Aquí se pueden explicar las dificultades que presentaba la idea newtoniana de acción a distancia de los cuerpos, y de las que el propio Newton era consciente.

- Se extrapolan las conclusiones al caso de una carga y de un imán.

- Si desaparece el objeto que “crea la fuerza” (es decir, la masa, la carga o el imán), ¿qué ocurre con el objeto que “sufría la fuerza”? Y si el que desaparece es el objeto que “sufría la fuerza”, ¿qué ocurre en el punto en el que se encontraba? ¿Habría fuerza?

- Para que una fuerza actúe debe cumplirse que exista “algo” que genere o realice esa fuerza y que exista “algo” sobre lo que actúe esa fuerza. Si el propio Newton cuestionaba su teoría de las fuerzas a distancia, ¿Qué puede crear la fuerza que actúa sobre un objeto?

Estas preguntas y otros muchos ejemplos y cuestiones se plantean para comprender que la Tierra, un imán o una carga influyen en el espacio que les rodea (hasta una cierta distancia). Esta influencia actúa modificando cierta magnitud física en la zona afectada y esta distribución espacial es lo que podemos denominar campo.

2.- Con la ayuda de un imán, unas limaduras de hierro y una hoja se pueden representar las líneas de fuerza del campo magnético del imán.

3.- Con la ayuda de una aplicación web se puede ver cuál es el campo creado por una (o varias) carga eléctrica o imán o ver el campo gravitatorio de la Tierra y analizar cuál es el campo en un punto si no hay ningún objeto, cual es el campo si hay un objeto en ese punto y cuál sería la fuerza en cada uno de los casos.

4.- Se puede explicar el funcionamiento de elementos cotidianos y que basen su funcionamiento en campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos como por ejemplo una fotocopiadora, un transformador, la radio y la televisión, un microondas,...

5.- CONCLUSIONES

Uno de los principales problemas que tiene la Educación es la dificultad para transmitir al alumnado los conceptos científicos más básicos y que éste lo comprenda. Este problema, por lo general, es independiente de factores como el método de enseñanza, la procedencia del alumnado o el país en que nos encontremos entre otros y se debe a los conocidos como errores conceptuales, interiorizados no sólo por el alumnado sino, en ocasiones, también por el propio profesorado que debe impartir esta asignatura.

A lo largo del presente trabajo se han intentado analizar algunos de los múltiples errores conceptuales que se presentan en la enseñanza y en el aprendizaje de la Física. Además de una introducción teórica, que pretende aclarar el concepto del que se trata en cada punto, se han propuesto diferentes ejemplos, actividades y experiencias con el objetivo de ayudar a comprender mejor dicho concepto. Se han desarrollado ejemplos cotidianos para presentar o discutir en clase, experiencias para realizar en clase a modo de ejemplo, experiencias de laboratorio y recursos web para errores conceptuales en los campos de la mecánica, la termodinámica y el electromagnetismo. El objetivo es proporcionar al profesorado recursos para usar o que sirvan de inspiración para que puedan preparar sus propios recursos.

No se pretende sustituir el modelo de enseñanza empleado sino complementarlo ya que en un aula pueden encontrarse diferentes tipos de alumnado y a cada uno de ellos puede resultarles útil un tipo de explicación. Por ello, lo ideal sería poder emplear todos los recursos aquí indicados y todos aquellos que puedan desarrollarse posteriormente. Por supuesto también existen limitaciones, la principal es el tiempo disponible para desarrollar el temario, que no permite detenerse demasiado en profundizar en todos y cada uno de los apartados. Es por ello que, además de aquello que pueda emplearse en el aula, este material puede emplearse en seminarios, clases de refuerzo o aulas virtuales. Y es aquí donde surge la segunda gran limitación o dificultad, y es que se necesita mucha implicación por parte del profesorado que tiene que dedicar mucho de su tiempo a buscar, idear o desarrollar materiales y recursos además de organizar el temario y planificar las clases. Pero los resultados seguro que compensan todo ese esfuerzo.

6.- BIBLIOGRAFIA

- Bachelard, G. *La formation de l'esprit scientifique*. París: Vrin, 1938.
- Barrio, J. I. del, Puente, J., Caamaño, A., y Agustench, M. *Física y Química 1*. Madrid: Ediciones SM, 2008.
- Caramazza, A., McCloskey, M. y Green, B. “Naive beliefs in ‘sophisticated’ subjects: misconceptions about trajectories of objects”. *Cognitions*, vol. 9, nº 2 (1981), p. 117-123.
- Carrascosa, J. “Errores conceptuales en la enseñanza de la física y la química: una revisión bibliográfica”. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 3, nº 3 (1985), p. 230-234.
- Esquembe, F., Martín, E., Christian, W. y Belloni, M. *Fislets: Enseñanza de la Física con material interactivo*. Madrid: Pearson Educación, S.A., 2004.
- Gil Pérez, D. “Los errores conceptuales como origen de un nuevo modelo didáctico: de la búsqueda a la investigación”. *Investigación en la Escuela*, nº 1 (1987), p. 35-41.
- Gil Pérez, D. y Guzmán Ozámiz, M. *Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Tendencias e innovaciones*. Madrid: Editorial Popular, 1993.
- Hierrezuelo Moreno, J., Montero Moreno, A. y Fernández González, M. *La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la Física y Química*. Madrid: Ed. Laia, 1989.
- Lara-Barragán Gómez, A. y Santiago Hernández, A. “Detección y clasificación de errores conceptuales en Calor y Temperatura”. *Latin-American Journal of Physics Education*, vol. 4, nº 2 (2010), p. 399-407.
- Martín, J. y Solbes, J. “Diseño y evaluación de una propuesta para la enseñanza del concepto de *Campo* en Física”. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 19, nº 3 (2001), p. 393-403.
- Osborne, R. y Wittrock, M. “Learning Science: a generative process”. *Science Education*, vol. 67, nº 4 (1983), p. 490-508.
- Otero Gutiérrez, J.C. “Assimilation problems in traditional representation of scientific knowledge”. *European Journal of Science Education*, vol. 7, nº 4 (1985), p. 361-369.

Perelman, Y. *Física recreativa. Libros 1 y 2*. 13ª Ed. Moscú: Mir, 1936.

Sanmartí, N. *Didáctica de las ciencias en la educación secundaria obligatoria*. Madrid: Síntesis, 2002.

Serway, R. A. *Física*. 2ª Ed. Revisada. México: Mc Graw-Hill Interamericana de México, 1993.

Vidal Fernández, M., Prada P. de Azpeitia, F. de, Escudero Bascón, C., Holgado Pérez, F. J., Montes Aguilera, M., Luis García, J. L. de, y Siles González, M. *Física y Química 4º ESO. Biblioteca del profesorado. Guía y recursos*. Madrid: Santillana Educación, S.L., 2011.

Vidal Fernández, M., Prada P. de Azpeitia, F. de, y Sanz Martínez, P. *Física y Química 4º ESO*. Madrid: Santillana Educación, S.L., 2008.

Viennot, L. *Le Raisonnement Spontané en Dynamique Élémentaire* [Tesis doctoral, Université Paris 7, 1976]. París: Herman, 1979.